



It is offered to use the complex approach to formation of the protective coatings, including deposition of coverings of multi-component structure with use of the separated plasma flows, in the present work.

Д. В. КУИС, БГТУ,

С. Д. ЛАТУШКИНА, И. М. РОМАНОВ, А. Г. ЖИЖЧЕНКО, ФТИ НАН Беларуси,

Н. А. СВИДУНОВИЧ, О. Ю. ПИСКУНОВА, П. В. РУДАК, БГТУ

УДК 621.74

НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ОСАЖДАЕМЫЕ ИЗ ПОТОКОВ СЕПАРИРОВАННОЙ ПЛАЗМЫ

Изнашивание, коррозия, циклические изменения температуры и тепловое разрушение изделий различного функционального назначения являются решающими факторами выхода из строя машин и технологического оборудования. На современном этапе развития техники предъявляются новые требования к качеству поверхностей деталей машин, работающих при интенсивном воздействии различных факторов изнашивания. Это обуславливает необходимость повышения физико-механических или эксплуатационных свойств деталей машин и механизмов при сохранении высокой точности поверхности. Данная актуальная для многих отраслей машиностроения проблема может быть решена только путем постоянного совершенствования всех составляющих процесса изготовления деталей. Возрастающие потребности промышленности в новых прогрессивных методах и средствах обработки быстроизнашивающихся деталей могут быть удовлетворены только с применением новейших технологий и материалов.

Пленочная технология является одним из способов получения наноструктурированных материалов, функциональные свойства (физико-механические, химические, оптические и др.) которых могут существенно отличаться от свойств соответствующих материалов в компактном состоянии. Причем прогресс в области получения новых материалов с высокой износо- и коррозионной стойкостью на основе наноматериалов наиболее ощутим на примере развития технологии формирования вакуумно-дуговых покрытий. Способ вакуумно-дугового осаждения позволяет получать нанокристаллические покрытия из тугоплавких соединений с гораздо более мелким зерном, чем в случае других альтернативных нанотехнологий (компактирования из ультрадисперсных порошков, кри-

сталлизация из аморфной фазы, интенсивная пластическая деформация и т. п.).

С целью повышения износостойкости рабочих поверхностей различных изделий широкое применение получили покрытия на основе нитрида титана (TiN) [1–3]. Однако в процессе более детального исследования свойств выяснилось, что они обладают рядом недостатков, ограничивающих перспективу их использования в промышленности. Так, они имеют низкую окислительную стойкость. При нагреве выше 550 °C на поверхности покрытия TiN начинает расти хрупкий с низкой адгезией слой оксида титана в фазе рутила, который быстро разрушает защитную стойкость покрытия [1]. Недостаточными для современного уровня развития техники и технологии оказались механические и триботехнические свойства этого покрытия.

В настоящее время на основе TiN разрабатывается новый класс покрытий – наноккомпозитные со средним размером зерен менее 100 нм, в частности, двухфазные покрытия на основе нитридов титана и алюминия, титана и хрома [4, 5]. Вследствие значительного увеличения объемной доли межзеренных границ такие покрытия имеют высокую твердость, износостойкость, окислительную стойкость и одновременно высокий коэффициент упругого восстановления и низкий коэффициент трения. Механизм образования наноккомпозитных структур связывают с сегрегацией одной фазы по границам зерен другой фазы, в результате которой прекращается рост кристаллитов. Последний ограничивается путем введения в состав растущего конденсата легирующих элементов, осуществляемого с помощью использования композиционных мишеней, бомбардировки растущего конденсата потоком ионов, чередования химического состава наноразмерных слоев при осаждении много-

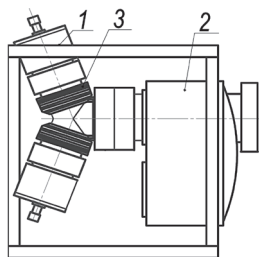


Рис. 1. Схема сепаратора для двухкатодного распыления: 1 – источники питания; 2 – камера вакуумная; 3 – сепаратор

слоистых структур, а также различной комбинации этих методов [6–9].

Управление структурой и фазовым составом покрытия обычно осуществляется подбором режимов осаждения, изменением концентрации легирующего элемента, парциального давления реакционного газа, температуры осаждения, потенциала смещения на подложке. Большинство работ в этом направлении связано с осаждением конденсатов из несепарированного потока. Однако присутствие в плазменном потоке макрочастиц (капель, твердых осколков материала катода) является основным недостатком, ограничивающим область применения вакуумно-дуговых эрозионных источников плазмы. Для удаления макрочастиц из потока конденсируемого материала при его движении от катода к поверхности конденсации используются различного рода электромагнитные системы поворота заряженных частиц.

В данной работе предлагается применять комплексный подход к формированию защитных слоев, включающий осаждение покрытий многокомпо-

нентного состава с использованием сепарированных плазменных потоков. Целью настоящего исследования было изучение структуры и физико-механических свойств Ti-Al-N-покрытий, осажденных из двух источников сепарированной плазмы вакуумной дуги. Осаждение покрытий проводили на вакуумно-дуговой модернизированной установке УРМЗ.279.048, оснащенной сепаратором макрочастиц (рис. 1). Для получения покрытий были использованы катоды из VT1-0 и алюминия (99,99%). Осаждение при различных режимах осуществляли на подложки из стали 12X18H10T, твердого сплава и кремния. Время осаждения выбирали таким образом, чтобы толщина покрытий составляла 1,0–1,5 мкм.

Морфологию и структуру осажденных покрытий изучали с помощью растрового электронного микроскопа. Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализы проводили с помощью дифрактометра ДРОН-3 в интервале углов ~ 30 – 120° в фильтрованном $\text{Cu-K}\alpha$ -излучении. Использование основных характеристик дифракционных максимумов позволило рассчитать параметр решетки (d), размер областей когерентного рассеяния (L). Микротвердость покрытия измеряли нанотвердометром Duramin при нагрузке индентора 25 г.

Как показали проведенные исследования, морфология поверхности покрытий характеризуется микрочаеистой структурой, аналогичной покрытиям на основе чистого титана. Отсутствие капель на поверхности и в объеме покрытия (рис. 2, 3) свидетельствует об эффективной работе сепарирующей системы, используемой в настоящей работе.

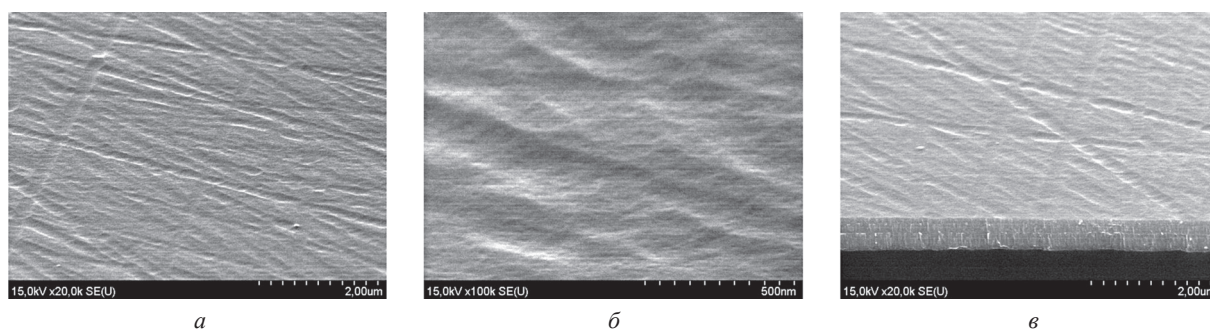


Рис. 2. Морфология поверхности осаждаемых покрытий: а – под углом 70° ; б – под углом 70° ; в – общий вид поверхности образца. а – $\times 20000$; б – $\times 100000$

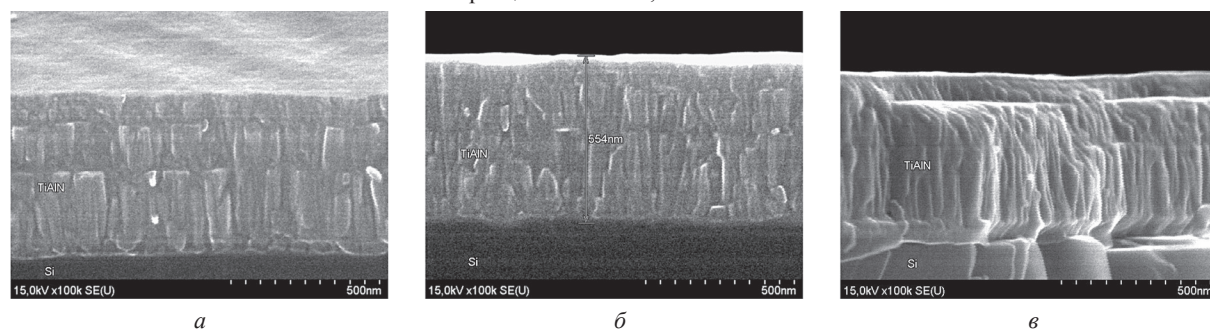


Рис. 3. Фрактограмма осаждаемых покрытий: а – под углом 70° ; б – под углом 90° ; в – общий вид образца. а, б – $\times 100000$

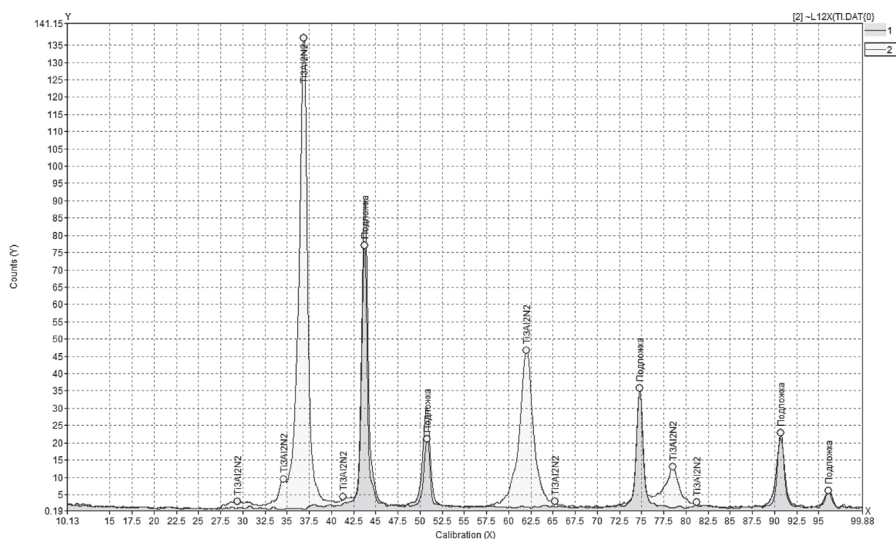


Рис. 4. Дифрактограмма покрытия Ti-Al-N

Структурные и механические характеристики композиционных покрытий

Покрытие	I, А титанового катода	P×10 ⁻² , Па	I, А дополнительного катода	%		d, нм	L, нм	H, ГПа
				Ti	легирующий элемент			
Ti-Al-N	55	0,3	50	72,83	13,68	0,421	10	24,48
			60	64,27	23,86	0,419	12	21,25
		0,6	50	71,12	11,64	0,422	15	24,38
			60	65,31	20,34	0,419	20	20,14

В результате рентгеновских исследований установлено, что при использовании алюминиевого и титанового катодов в покрытии появляются линии кристаллической фазы (Ti, Al)N, которое представляет собой твердый раствор Al в решетке TiN с кубической структурой типа NaCl (рис. 4).

Как видно из рисунка, период решетки с ростом давления немного уменьшается: с 0,421 до 0,419 нм (см. таблицу). Полученные значения периода существенно ниже, чем в массивном TiN стехиометрического состава (0,424 нм) и вакуумно-дуговых конденсатов Ti-N, осажденных из сепарированных потоков плазмы.

Такое уменьшение периода обусловлено замещением атомов Ti в структуре TiN меньшими по

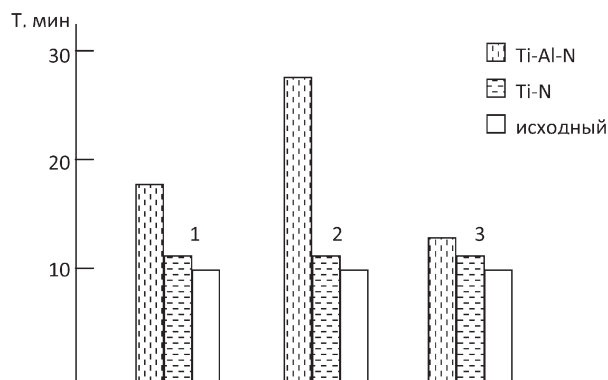


Рис. 5. Зависимость периода стойкости твердосплавных пластин с покрытиями Ti-Al-N от концентрации алюминия в составе покрытия: 1 – 25% Al; 2 – 14; 3 – 50 (лит. данные)

размеру атомами Al. Полученные результаты согласуются с литературными данными, где показано, что пленка Ti-Al-N характеризуется кубической структурой TiN с уменьшенным периодом решетки, если атомная концентрация Al не превосходит 60%. Однако увеличение процентного содержания Al в составе покрытия приводит к снижению микротвердости покрытия.

Испытания твердосплавных режущих пластин с покрытиями Ti-Al-N при обработке древесностружечных плит (рис. 5) показали высокую рабо-

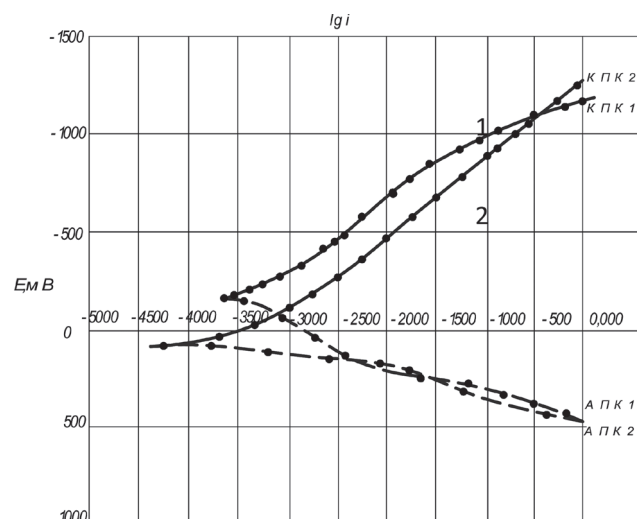


Рис. 6. Поляризационные кривые в 3%-ном растворе NaCl: 1 – сталь 12X18H10T, 2 – сталь 12X18H10T с покрытием Ti-Al-N

тоспособность при высоких скоростях (температурах) по сравнению с покрытиями TiN. Критерием стойкости служил износ по задней поверхности.

В результате электрохимических исследований Ti-Al-N-покрытий на подложке из стали 12X18H10T (рис. 6) установлено повышение защитной способности системы покрытие–подложка.

Таким образом, методом вакуумно-дугового осаждения из сепарированных плазменных пото-

ков получены нанокристаллические покрытия Ti-Al-N с размером кристаллитов 10–20 нм. Показано, что целенаправленное легирование улучшает эксплуатационные свойства покрытий, такие, как износостойкость, сопротивление коррозии, что позволяет использовать их в качестве защитных слоев, осаждаемых на рабочие поверхности изделий различного функционального назначения.

Литература

1. Sundgren J. E. Structure and properties of TiN coatings // *Thin Solid Films*. 1985. Vol. 128. P. 21–44.
2. Андриевский Р. А., Анисимова И. А., Анисимов В. Г. Формирование структуры, микротвердости многослойных дуговых конденсатов на основе нитридов // *ФиХОМ*. 1992. № 2. С. 99–102.
3. Veprək S., Veprək-Heijman M. Industrial applications of superhard nanocomposite coatings // *Surf. And Coat. Technol.* 2008. Vol. 202. P. 5063–5073.
4. Левашов Е. А., Штанский Д. В. Многофункциональные наноструктурированные пленки // *Успехи химии*. 2007. № 76(5). С. 501–509.
5. Васильев В., Лучанинов А., Решетняк Е., Стрельницкий В. и др. Структура и твердость Ti-N и Ti-Si-N покрытий, осажженных из фильтрованной вакуумно-дуговой плазмы // *Вопросы атомной науки и техники*. 2009. № 2. С. 173–180.
6. Han Jeon G., Myung Hyun S., Lee Hyuk M., Shaginyan Leonid R. Microstructure and mechanical properties of Ti-Ag-N and Ti-Cr-N superhard nanostructured coatings // *Surf. and Coat. Technol.* 2003. Vol. 174–175. С. 738–743.
7. Мрочек Ж. А., Эйзнер Б. А., Марков Г. В. Основы технологии формирования многокомпонентных вакуумных электродуговых покрытий. Мн.: Навука і тэхніка. 1991. 96 с.
8. Кунченко Ю. В., Кунченко В. В., Неклюдов И. М., Картмазов Г. Н., Андреев А. А. Слоистые Ti-Cr-N покрытия, получаемые методом вакуумно-дугового осаждения // *ВАНТ. Сер. Физ. рад. поврежд. и рад. материаловед.* 2007. № 2 (90). С. 203–214.
9. Hsu C. H., Lee C. C., Ho W. Y. Filter effects on the wear and corrosion behaviors of arc deposited (Ti, Al)N coatings for application on coldwork tool steel // *Thin Solid Films*. 2008. Vol. 516. P. 4826–4828.